

## DETERMINACION DE LA DURACION DE LA INSOLACION REALMENTE POSIBLE, $S_r$

*Observatorio del Centro Radiométrico Nacional, Madrid*

En septiembre de 1982 la O.M.M., mediante la Circular M/CLL, comunicaba la decisión adoptada por la Comisión de Climatología y Aplicaciones de la Meteorología para que en cada observatorio en que se efectúe medida del número de horas de insolación, se determine la duración realmente posible de la misma,  $S_r$ , lo que a su vez permitirá una determinación exacta de la duración relativa de la insolación; con ello se podrán elaborar los mapas de duración real y relativa de la insolación, que deberán considerarse como una fase intermedia para la elaboración de mapas de radiación solar.

Entre los distintos métodos recomendados, hemos optado por la determinación del horizonte real de la estación mediante un teodolito situado en el punto en que está instalado el heliógrafo, y procediendo al levantamiento topográfico del horizonte visualizado desde allí, tal y como muestra la figura 1, en la cual están dibujadas las trayectorias del Sol en las proximidades de los solsticios y equinoccios.

Una vez determinado el horizonte real se han seguido las siguientes fases:

1. *Calcular la trayectoria* que sigue el Sol cada día del año en las proximidades del horizonte y obtener el momento en que el Sol está libre de obstáculos para que los rayos solares alcancen el sensor. En la figura 2 sólo se han reflejado las correspondientes a tres días de cada mes, días centrales de cada decena, para dar una mayor claridad a las figuras. En la figura 3 no se han dibujado las

trayectorias al no ser necesario, como se explica en el apartado 3.

2. *Calcular la duración de la insolación astronómica,  $S_a$ .*

Aunque este dato es fácil de obtener en el Anuario Astronómico del año correspondiente, se ha optado por su cálculo teórico para el año medio y para cada día. Efectuando las correcciones precisas debido a la refracción atmosférica en los ortos y ocasos, así como la de disco solar, se han obtenido valores que no difieren en más de un minuto de los ofrecidos por el Anuario. No se ha considerado el efecto de altitud al ser significativo sólo para observatorios muy elevados sobre el horizonte.

3. *Evaluar la influencia del "Efecto Umbral".*

Hasta octubre de 1981 estaba recomendado por la OMM como umbral de insolación una irradiancia solar directa de  $200 \text{ Wm}^{-2}$ , considerando que por debajo de ese valor la sensibilidad de los registradores usuales de la insolación no permitía la medida de la misma. Desde entonces, en la VIII Reunión de la CIMO se recomendó un umbral inferior de  $120 \text{ Wm}^{-2}$ , que fue aceptado y establecido provisionalmente por la 13.<sup>a</sup> Reunión del Comité Ejecutivo en junio de 1982. Les llamaremos  $U_{200}$  y  $U_{120}$  respectivamente.

Para determinar la influencia del umbral en los retrasos o adelantos de ortos y ocasos, hemos analizado los datos registrados con el Sistema de Adquisición de Datos instalado en el Centro Radio-

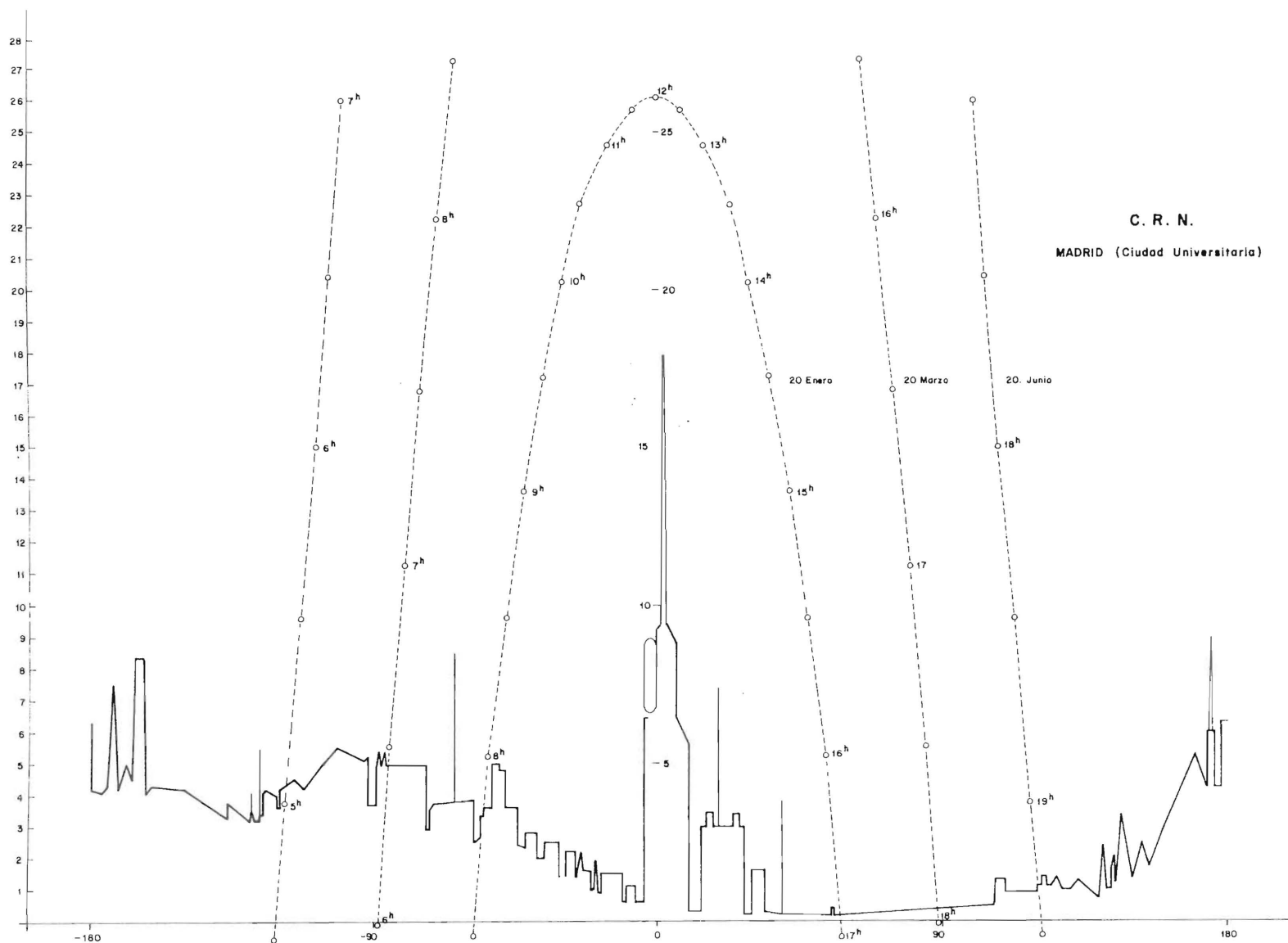


Figura 1.—Horizonte real y trayectoria del sol.

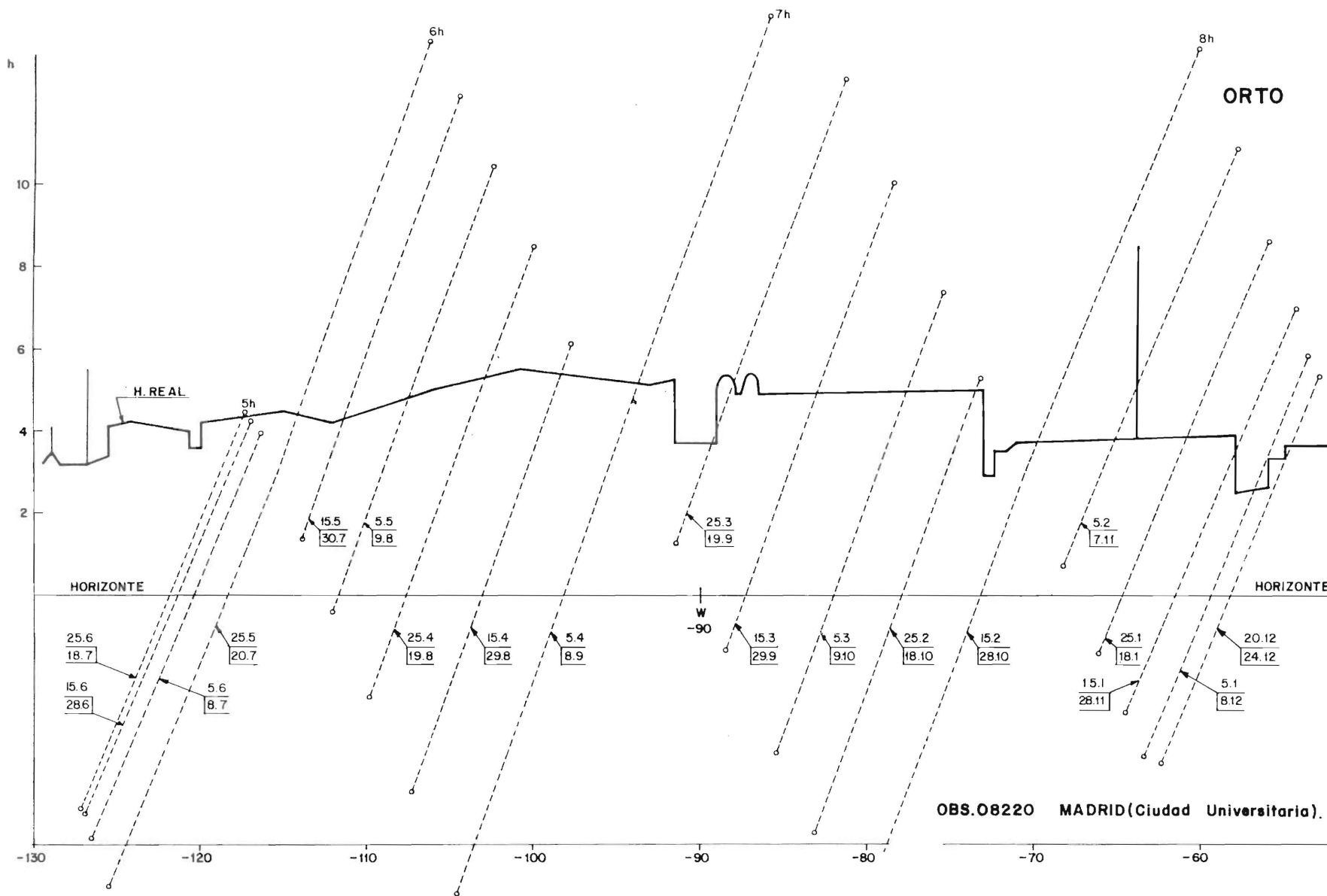


Figura 2.—Orto.

métrico Nacional durante un período de tiempo suficientemente amplio. De ese período se seleccionaron 15 días en que se presentaron condiciones excepcionales de máxima irradiancia al amanecer y o al atardecer conjuntamente (Tabla 1).

TABLA 1.—Alturas solares mínimas observadas en que la irradiancia directa es superior a un umbral dado (la ausencia de día o una raya indica alturas superiores a  $3^\circ$ , si está en blanco no hubo medición con el S.A.D.)

Día	U <sub>200</sub>		U <sub>120</sub>	
	Orto	Ocaso	Orto	Ocaso
1- 3-82	—	1,98		
6- 3-82	—	2,02		
7- 3-82	—	2,05		
21- 3-82	—	2,46		
14- 6-82	—	2,92		
28- 7-82	—	2,24		
1- 9-82	—	2,59	—	1,77
2- 9-82	—	—	—	2,35
3- 9-82	—	—	—	2,11
6- 9-82	—	—	—	2,15
21- 9-82	—	—	—	2,22
2-10-82	—	—	—	2,09
24-10-82	2,95	—	2,95	2,30
25-10-82	—	—	2,97	2,24
17-11-82	—	2,66	—	2,07

Sólo en uno de esos casos, el día 1 de marzo de 1982, y para U<sub>200</sub> hubo insolación con altura del Sol inferior a  $2^\circ$  y en otro día, el 1 de septiembre, si consideramos el umbral U<sub>120</sub>. El resto de los registros presentan siempre el comienzo de la insolación para alturas superiores a los  $2^\circ$ .

Por ello se ha estimado esa altura solar de  $2^\circ$  como la mínima para que se produzca insolación, o que la irradiancia directa sea superior al Umbral establecido, U<sub>120</sub>.

En el caso de la estación considerada, el CRN, el efecto umbral no afecta en los ortos, pues en ellos el horizonte es siempre superior a  $2,5^\circ$ . En el ocaso, por el contrario, influirá durante todo el año al estar el horizonte real siempre por debajo de  $1,5^\circ$ . Por esta razón se considerará un horizonte continuo de  $2^\circ$  de elevación en todos los ortos y

por lo mismo se hace innecesario reflejar las trayectorias del Sol (Fig. 3).

#### 4. Calcular la velocidad vertical del Sol en el horizonte.

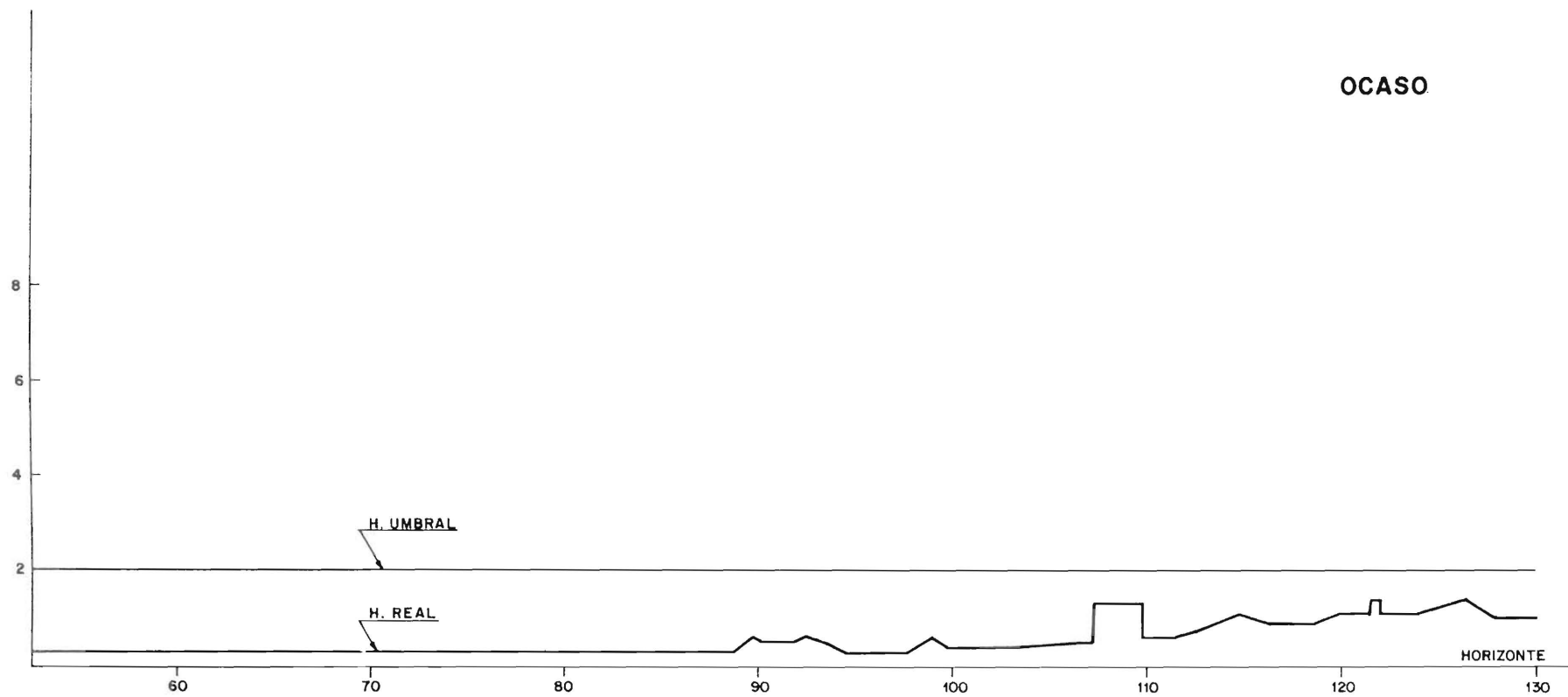
La misma altura de horizonte producirá diferentes tiempos de retraso o adelanto en orto y ocaso debido a que la velocidad de ascenso del Sol es diferente de unas épocas del año a otras, siendo función de la declinación y de la trayectoria solar en la bóveda celeste. Esa diferencia de velocidades es mayor cuanto mayor es la latitud, en tanto que la velocidad vertical media disminuye al aumentar la latitud; ello implica que la influencia en los retrasos o adelantos y la variación de estos sea mayor cuanto mayor sea la latitud para una misma altura de los obstáculos.

Por ello, se ha determinado para la latitud del observatorio considerado la velocidad vertical del Sol para cada día en las proximidades del horizonte, encontrándose una variación como muestra la figura 4, con valores extremos entre 7,66 y 11,4 grados de altura solar por hora; si se considera el efecto de refracción dará valores ligeramente superiores.

#### 5. Cálculo de la duración real del día.

Con las figuras 2 y 3, a escala adecuada, se han determinado las alturas en que se produce la salida del Sol, visto desde el heliógrafo, y para seis días de cada mes. La tabla 2 muestra los valores de esos ángulos de elevación y el retraso que produce en los ortos, que es muy variable debido a la irregularidad del horizonte, con profusión de cortes en vertical debido al perfil de las edificaciones próximas. En los ocasos al considerar un horizonte "real" más regular debido al efecto umbral sólo se produce alguna pequeña diferencia en los tiempos de adelanto en la ocultación del Sol a causa de la diferente velocidad de ascenso del mismo a lo largo del año.

Las últimas columnas de la tabla 2 representan la duración teórica del día y la duración realmente



OBS. 08220 MADRID (Ciudad Universitaria).

Figura 3.—Ocaso.

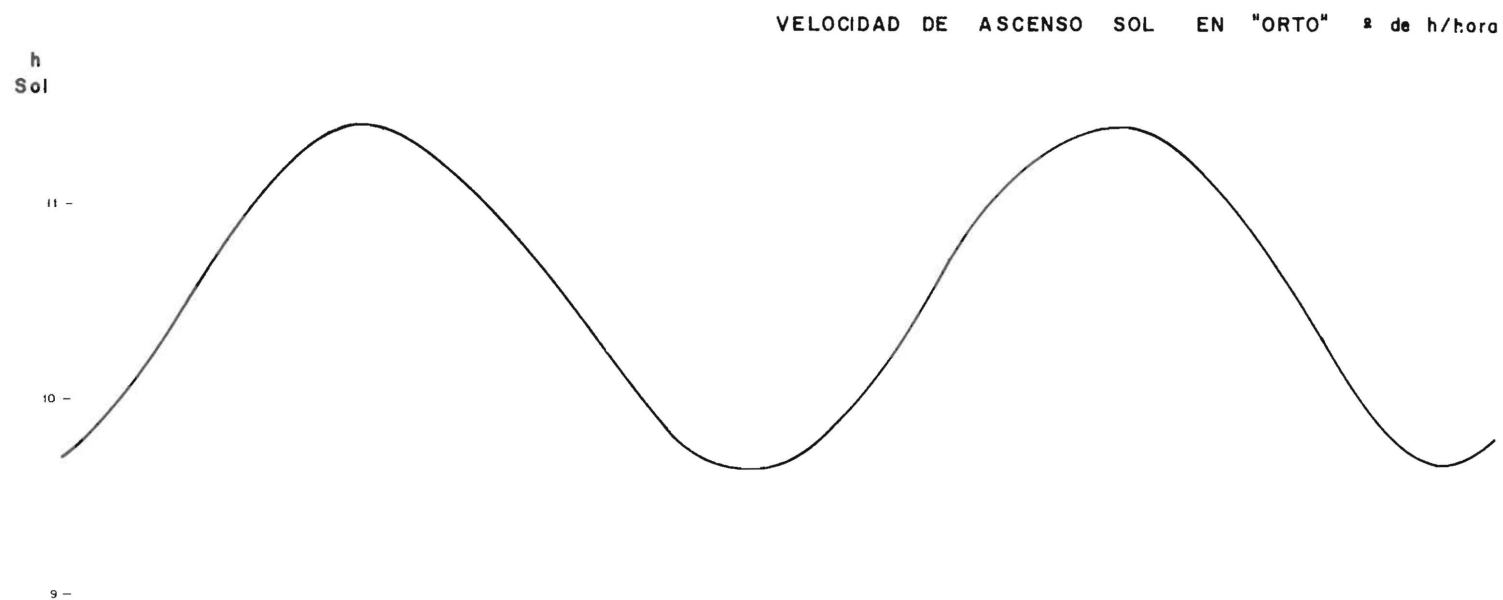


FIG. 4. VELOCIDAD VERTICAL DEL SOL EN EL HORIZONTE  
EN ° de h/hora.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
--	-------	---------	-------	-------	------	-------	-------	--------	------------	---------	-----------	-----------	--

Figura 4.—Velocidad vertical del sol en el horizonte en ° de h/hora.

TABLA 2.—Retrasos y adelantos de ortos y ocasos en horas

Días	$V_s$	ORTO		OCASO		$S_a(h)$	$S_e(h)$	F
		$\gamma (^{\circ})$	retraso (h)	$\gamma (^{\circ})$	adelanto (h)			
1. I/12.XII	9,73	2,6	0,27	2°	0,2	9,34	8,87	0,95
5. I/ 8.XII	9,78	"	"	"	"	9,39	8,92	0,95
10. I/ 3.XII	9,86	2,5	0,25	"	"	9,48	9,03	0,95
15. I/28.XII	9,96	3,5	0,35	"	"	9,59	9,04	0,94
20. I/23.XI	10,08	3,8	0,37	"	"	9,72	9,15	0,94
25. I/18.XI	10,22	"	"	"	0,19	9,87	9,31	0,94
1. II/11.XI	10,42	3,8	0,36	"	"	10,11	9,56	0,95
5. II/ 7.XI	10,53	"	"	"	"	10,36	9,71	0,95
10. II/ 2.XI	10,68	3,7	0,34	"	"	10,45	9,92	0,95
15. II/28.X	10,83	"	0,34	00	0,18	10,65	10,13	0,95
20. II/23.X	10,96	2,9	0,26	"	"	10,86	10,42	0,96
25. II/18.X	11,08	5,0	0,45	"	"	11,08	10,45	0,94
1. III/13.X	11,17	5,0	0,44	2°	0,18	11,25	10,63	0,95
5. III/ 9.X	11,25	4,9	0,43	"	"	11,43	10,82	0,95
10. III/ 4.X	11,32	"	"	"	"	11,65	11,04	0,95
15. III/20.IX	11,37	"	"	"	"	11,88	11,27	0,95
20. III/24.IX	11,40	"	"	"	"	12,10	11,49	0,95
25. III/19.IX	11,40	5,2	0,46	"	"	12,33	11,69	0,95
1. IV/12.IX	11,36	4,3	0,38	"	"	12,64	12,08	0,96
5. IV/ 8.IX	11,31	5,1	0,45	"	"	12,82	12,19	0,95
10. IV/ 3.IX	11,23	5,2	0,47	"	"	13,04	12,39	0,95
15. IV/29.VIII	11,13	5,4	0,49	"	"	13,25	12,58	0,95
20. IV/24.VIII	11,02	5,5	0,50	"	"	13,46	12,78	0,95
25. IV/19.VIII	10,89	5,3	0,49	"	"	13,67	13,00	0,95
1. V/13.VIII	10,72	5,1	0,48	2°	0,19	13,91	13,24	0,95
5. V/ 9.VIII	10,60	4,8	0,45	"	"	14,06	13,42	0,95
10. V/ 4.VIII	10,45	4,6	0,44	"	"	14,24	13,61	0,96
15. V/30.VII	10,31	4,3	0,42	"	"	14,41	13,80	0,96
20. V/25.VII	10,17	"	"	"	0,20	14,56	13,94	0,96
25. V/20.VII	10,04	4,4	"	"	"	14,70	14,08	0,96
1. VI/13.VII	9,88	4,5	0,46	"	"	14,86	14,20	0,96
5. VI/ 8.VII	9,81	4,4	0,45	"	"	14,93	14,28	0,96
10. VI/ 3.VII	9,74	"	"	"	"	15,00	14,35	0,96
15. VI/28.VI	9,69	"	0,46	"	"	15,05	14,39	0,96
20. VI/23.VI	9,67	4,3	0,45	"	"	15,07	14,42	0,96
20.XII/24.XII	9,66	3,6	0,39	"	0,21	9,28	8,68	0,94

posible, produciéndose diferencias superiores al 6 %. Siendo:

$V_s$  = velocidad vertical del Sol en el horizonte.

$\gamma$  = altura del Sol en grados.

$S_a$  = duración de la insolación astronómica.

$S_e$  = duración de la insolación realmente posible.

F = factor de corrección.

$S_g$  = duración de la insolación registrada.

$S_r$  = duración relativa de la insolación.

$S_{re}$  = duración relativa efectiva de la insolación.

## CONCLUSIONES

Es evidente que los muchos factores que influyen en nuestros instrumentos de registro de la duración de la insolación son imposibles de encerrar en los pocos parámetros considerados, pero no hay duda que el valor así obtenido permitirá

una determinación de la duración relativa de la insolación,  $S_r$ , mucho más precisa. Hasta ahora la duración relativa de la insolación viene dada por:

$$S_r = \frac{S_g}{S_a}$$

pero la que debe considerarse es la duración relativa de la insolación efectiva o real, dada por:

$$S_{r_e} = \frac{S_g}{S_e} = \frac{S_g}{S_a} \cdot \frac{S_a}{S_e} = \frac{S_r}{S_e/S_a}$$

llamando  $F = S_e/S_a$  y teniendo en cuenta que debido al efecto umbral  $S_e < S_a$  se tendrá que

$$S_{r_e} = S_r/F$$

con  $S_{r_e} > S_r$ , al ser  $F < 1$ , o más exactamente  $F \leq 0,96$ , correspondiendo el signo igual a un horizonte libre de obstáculos.

Entonces, para obtener la verdadera insolación relativa, será necesario dividir la obtenida actualmente a partir de la duración de insolación registrada por el factor  $F$  de cada día en el observatorio correspondiente.

Es de esperar que con esta corrección, las correlaciones que se hagan utilizando la ecuación de Ångström o similares para determinar irradiación global sobre superficie horizontal,  $G$ , a partir de los registros de heliógrafo tengan unos resultados más acordes con los registros directos.

Con estas correcciones realizadas para toda la red heliográfica, que es suficientemente extensa, se mejorarían los mapas climatológicos de insolación relativa. Estos serían una gran ayuda a la hora de establecer la climatología de la radiación solar en aquellas zonas que adolecen de otra información radiométrica.